

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
Please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **11183160 A**(43) Date of publication of application: **09.07.99**

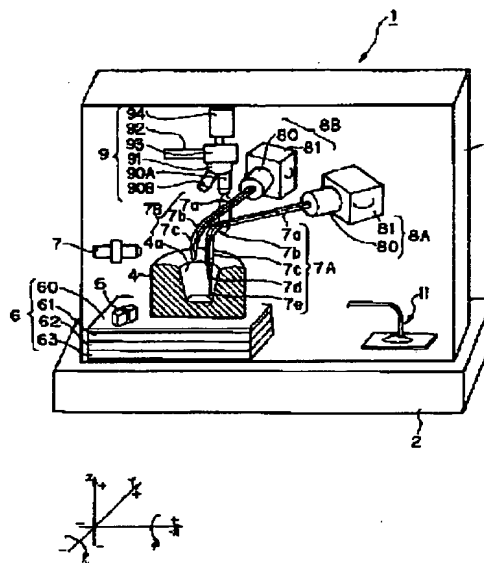
(51) Int. Cl.

G01B 21/20
G01B 11/16(21) Application number: **09356597**(71) Applicant: **FUJI XEROX CO LTD**(22) Date of filing: **25.12.97**(72) Inventor: **HIRONO AYUMI****(54) FORM MEASURING EQUIPMENT AND FORM MEASURING METHOD****(57) Abstract:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To precisely and simply measure the complicated three-dimensional form of an object to be measured which contains a free curved surface, irrespective of conductor and non-conductor.

SOLUTION: When an object 4 to be measured is moved in the vertical direction Z by using an X-Y-Z stage 6, the tip part 7d of a probe 7A comes into contact with the object 4, and the probe 7A is bent. An image processing part detects the contact, on the basis of the image of the probe 7A which is picked by an optical microscope 9. A total control part scans the surface of the object 4 in the vertical direction Z and the horizontal directions X, Y by controlling the X-Y-Z stage 6, and obtains the three-dimensional coordinates of the surface of the object 4, on the basis of contact detection of the image processing part.

COPYRIGHT: (C)1999,JPO



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-183160

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int. Cl.⁸G 0 1 B 21/20
11/16

識別記号

1 0 1

F I

G 0 1 B 21/20
11/161 0 1 Z
H

審査請求 未請求 請求項の数17 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号

特願平9-356597

(22) 出願日

平成9年(1997)12月25日

(71) 出願人 000005496

富士ゼロックス株式会社

東京都港区赤坂二丁目17番22号

(72) 発明者 広野 歩

神奈川県足柄上郡中井町境430 グリーン

テクノikai富士ゼロックス株式会社内

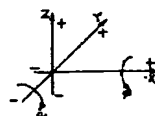
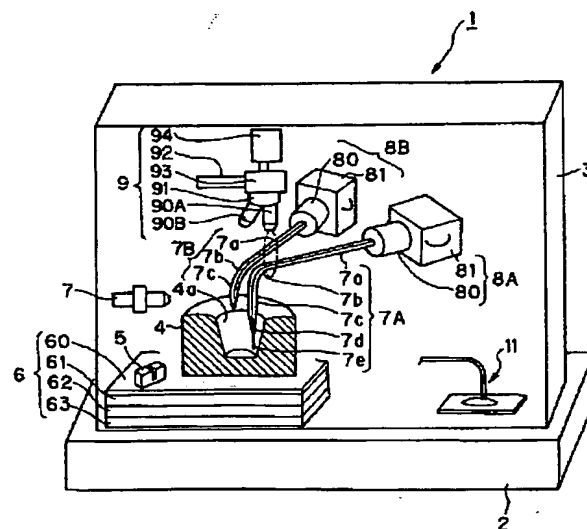
(74) 代理人 弁理士 平田 忠雄

(54) 【発明の名称】 形状計測装置および形状計測方法

(57) 【要約】

【課題】 被測定物の自由曲面を含む複雑な3次元形状を導体か不導体かによらず高精度かつ簡便に計測可能な形状計測装置および形状計測方法を提供する。

【解決手段】 被測定物4をX-Y-Zステージ6によって鉛直方向Zに移動させると、被測定物4と触針7Aの先端部7dとが接触し、触針7Aがたわむ。画像処理部は、光学顕微鏡9が撮像した触針7Aの画像に基づいて接触を検知する。全体制御部は、X-Y-Zステージ6を制御して被測定物4の表面を鉛直方向Zおよび水平方向X、Yに走査し、画像処理部による接触検知に基づいて被測定物4の表面の3次元座標を取得する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針と、
被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う主走査手段と、
前記主走査手段の前記接離動作によって前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを検出するたわみ検出手段と、
前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる副走査手段と、
前記主走査手段および前記副走査手段を制御して前記被測定物を前記触針に対して相対的に移動させることにより前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記たわみ検出手段の検出に基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する制御手段とを備えたことを特徴とする形状計測装置。
【請求項2】前記制御手段は、前記被測定物の前記表面の同一の点に対し、前記接離動作を複数回繰り返して前記主走査方向の複数の座標を求め、前記複数の座標の平均値あるいは中央値を前記3次元座標における前記主走査方向の座標とする構成の請求項1記載の形状計測装置。
【請求項3】前記制御手段は、前記被測定物の前記表面の傾きに応じて前記走査幅を可変とする構成の請求項1記載の形状計測装置。
【請求項4】前記触針は、前記先端が前記主走査方向に先鋭化され、その先鋭化された部分は、表面に導電率の高い金属が蒸着された構成の請求項1記載の形状計測装置。
【請求項5】前記先端の先鋭化された前記部分は、表面に金が蒸着された構成の請求項4記載の形状計測装置。
【請求項6】前記触針は、前記先端が折曲された前記所定の方向と前記主走査方向とが一致するように前記触針の姿勢を調整する調整手段を備えた構成の請求項1記載の形状計測装置。
【請求項7】前記調整手段は、前記触針の回転方向の姿勢を調整する回転ステージと、前記触針の傾斜方向の姿勢を調整する傾斜ステージとを備えた構成の請求項6記載の形状計測装置。
【請求項8】前記たわみ検出手段は、前記たわみが発生する前記触針の部分を含む画像を撮像する撮像手段と、前記撮像手段によって撮像された前記画像に基づいて前記たわみを判定する判定手段とを備えた構成の請求項1記載の形状計測装置。
【請求項9】前記判定手段は、前記画像に現れる前記触針の部分の合焦の程度を所定の合焦点測度関数により評価し、前記合焦点測度関数の値が一定の閾値を越えた場合に、前記たわみが発生したと判定する構成の請求項8

記載の形状計測装置。

【請求項10】前記合焦点測度関数は、前記画像を複数の部分画像に分割し、前記複数の部分画像のうち前記触針の部分が含まれている前記部分画像について、個々の前記部分画像における輝度ばらつき値、あるいは輝度平均値を用いる構成の請求項9記載の形状計測装置。

【請求項11】前記触針は、片持ち支持される基部と、前記基部に接続し、所定の曲率半径で折曲された折曲部と、前記折曲部に接続し、前記基部に対し前記所定の方向に折曲された真直部と、前記真直部に接続し、前記被測定物に接触する前記先端が先鋭化された先端部とを備えた構成の請求項1記載の形状計測装置。

【請求項12】前記触針は、直径が10～50 μ mの細線を折曲して形成され、前記基部から前記折曲部までの距離が2～5mmであり、前記真直部の長さが0.5～2mmであり、前記先端部の先鋭化は曲率半径0.1 μ m以上とした構成の請求項1記載の形状計測装置。

【請求項13】先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針と、
前記触針の近傍に配置され、振動による挙動が前記触針と同程度の挙動を示す疑似触針と、
被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う主走査手段と、
前記触針のたわみおよび前記疑似触針のたわみを検出するたわみ検出手段と、
前記たわみ検出手段が検出した前記触針のたわみおよび前記疑似触針のたわみに基づいて、前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを判定する判定手段と、
前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる副走査手段と、
前記主走査手段および前記副走査手段を制御して前記被測定物を前記触針に対して相対的に移動させることにより前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記判定手段の判定に基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する制御手段とを備えたことを特徴とする形状計測装置。

【請求項14】前記たわみ検出手段は、前記たわみが発生する前記触針の部分を含む画像、および前記たわみが発生する前記疑似触針の部分を含む画像を撮像する撮像手段を備え、

前記判定手段は、前記撮像手段によって撮像された前記両画像に現れる前記触針の部分および前記疑似触針の部分の合焦の程度をそれぞれ合焦点測度関数により評価し、前記触針についての前記合焦点測度関数の値から前記疑似触針についての前記合焦点測度関数の値を引いた値が一定の閾値を越えた場合に、前記たわみが発生したと判定する構成の請求項13記載の形状計測装置。

【請求項15】先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針を準備する第1の工程と、
被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う第2の工程と、

前記第2の工程の前記接離動作によって前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを検出する第3の工程と、

前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる第4の工程と、

前記第2の工程、前記第3の工程および前記第4の工程を繰り返して前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記第3の工程で得られた前記たわみに基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する第5の工程とを含むことを特徴とする形状計測方法。

【請求項16】前記第1の工程は、前記触針の前記先端が折曲された前記所定の方向と前記主走査方向とが一致するように前記触針の姿勢を調整する工程を含む構成の請求項15記載の形状計測方法。

【請求項17】前記触針の姿勢を調整する工程は、既知の表面形状に対して計測を行って前記触針の姿勢を調整する構成の請求項16記載の形状計測方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、インクジェットプリンタや光通信における伝送デバイス等で求められているような微細かつ3次元の形状に創成された部品の表面形状を高速に自動計測する形状計測装置および形状計測方法に関する。

【0002】

【従来の技術】各家庭に光ファイバーが敷設される高度情報化社会の到来を目前に控え、画像出力機器や光通信に用いられる機能部品には、ますます高解像度化、高密度化が要求されており、その寸法は μm 単位の微細なものが求められ、その形状は自由曲面を含む3次元形状が求められている。例えば、画像出力機器の一つにインクジェットプリンタがあるが、それに用いられるマーキングヘッドのノズルでは、ピッチ間隔や直径は10～100 μm であり、その形状はインクの吐出原理に応じて直線形状の組合せから自由曲面を含む複雑な形状まで様々な形状が提案されている。すなわち、10～100 μm で自由曲面を含む3次元微細形状のものが求められている。このような3次元微細形状のものは、生産性の点から成型による加工が多く、一般に、不導体である樹脂材料がよく用いられる。

【0003】この3次元微細形状を計測する装置および方法には、従来より次の計測技術が用いられている。

- (1) 反射光を用いた計測技術
- (2) 触針を用いた計測技術

【0004】(1) 反射光を用いた計測技術

この反射光を用いた計測技術には、例えば、共焦点の原理によるものと、非点収差法によるものがある。

【0005】共焦点の原理によるものとしては、例えば、特開平7-113617号公報に示されるものがある。この技術は、共焦点の原理によりセンサ面から測定対象までの距離を測り、センサ自体を2次元の平面内で走査することにより3次元形状の情報を得るものであり、レーザービーム光を測定対象に投光し、対物レンズを通して受光センサに受光し、受光センサ前面にピンホールを設置して焦点位置からの反射光だけが通過するようにして焦点位置を検出する。この技術によれば、対物レンズを高速に振動させ焦点位置を変えることで測定対象までの距離を測ることができる。

【0006】非点収差法によるものは、非点収差法により焦点位置を検出し、センサ自体を2次元の平面内で走査することにより3次元形状の情報を得るものである。この技術は、投光したレーザービーム光の反射光を対物レンズで集光し、円筒レンズを通して4分割受光素子からなるセンサで受光する。合焦点からの反射光であれば4つの受光素子に均等に受光するが、前焦点位置と後焦点位置では受光素子への受光比率が異なってくる。前焦点と後焦点の情報を基にセンサを移動することにより合焦点位置に位置制御することができる。

【0007】(2) 触針を用いた計測技術

触針を用いた計測技術としては、例えば、特開平5-264215号公報および特開平8-247743号公報に示されるものがあり、また、走査型原子間力顕微鏡(AFM)を用いるものが知られている。

【0008】特開平5-264215号公報に示された従来例は、微細な触針を振動させ、接触面との導通時間の比率から位置を検知するものである。この従来例によれば、細くて深い溝の壁面形状を知ることができる。

【0009】特開平8-247743号公報に示された従来例は、光路媒体を触針として光量変化、周波数変化、偏光成分変化を捉えて接触を検知するものである。この従来例によれば、不導体の表面形状を測定することができる。

【0010】AFMを用いた従来例は、微小な探針を用い、この探針を表面に鉛直方向から接近させ、この接近させた時に発生する原子間力により探針をたわませ、このたわみをAFMによって光学的に検知するものである。探針は、主に半導体プロセスを用いて製作される。この従来例によれば、半導体や数 μm 以下の光学部品の微小表面形状を測定することができる。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上記(1)の反射光を用いた従来例によると、平面やなだらかな凸部の傾斜面では反射光が受光素子に戻って計測可能であるが、切り立った傾斜面や溝のエッジ端部等深さ方向に傾

きを持つ面では、ビーム光が戻らず計測できないという問題がある。

【0012】また、上記(2)の触針を用いた従来例によると、以下の問題がある。特開平5-264215号公報に示された従来例によると、水平な面の測定や、不導体の測定ができず、微小な隙間に電圧を印加して発生する高電界による静電吸着の問題がある。特開平8-247743号公報に示された従来例によると、光路媒体を形成するのに市販の最細のシングルモード光ファイバを用いても直径100 μ m程度であるので、数十 μ m程度の微細構造の表面形状の測定は困難である。AFMを用いた従来例によると、原子間力による探針のたわみを利用しているので、急傾斜面に対して鉛直方向から接近させると、静電力等の表面力によって探針が傾斜面に引き寄せられるため、急傾斜面で十分な分解能が得られないという問題がある。また、探針を半導体プロセスによって製作したのでは、数十 μ mの深い細溝の内面が測れるまで探針先端部分を長く製作することは困難である。

【0013】すなわち、上記従来例によると、不導体を含む数 μ mから100 μ m程度の微細形状物の表面形状で、溝の側壁等の急傾斜角を含みアスペクト比の高い形状の測定に対しては、反射光を用いる方法ではビーム光が戻らない、触針式の方法では、物理的に測定対称物と干渉したり、逆に到達できない、もしくは接触したことを検知できない、十分な分解能が得られない等の問題があり、実用的な方法が示されていないのが現状である。

【0014】従って、本発明の目的は、被測定物の自由曲面を含む複雑な3次元形状を導体か不導体かによらず高精度かつ簡便に計測可能な形状計測装置および形状計測方法を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するため、先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針と、被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う主走査手段と、前記主走査手段の前記接離動作によって前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを検出するたわみ検出手段と、前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる副走査手段と、前記主走査手段および前記副走査手段を制御して前記被測定物を前記触針に対して相対的に移動させることにより前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記たわみ検出手段の検出に基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する制御手段とを備えたことを特徴とする形状計測装置を提供する。本発明は、上記目的を達成するため、先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針と、前記触針の近傍に配置され、振動による挙動が前記触針と同程度の挙動を示す疑

似触針と、被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う主走査手段と、前記触針のたわみおよび前記疑似触針のたわみを検出するたわみ検出手段と、前記たわみ検出手段が検出した前記触針のたわみおよび前記疑似触針のたわみに基づいて、前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを判定する判定手段と、前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる副走査手段と、前記主走査手段および前記副走査手段を制御して前記被測定物を前記触針に対して相対的に移動させることにより前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記判定手段の判定に基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する制御手段とを備えたことを特徴とする形状計測装置を提供する。本発明は、上記目的を達成するため、先端が所定の方向に折曲された弾性を有する触針を準備する第1の工程と、被測定物を前記触針に対して前記所定の方向に対応する主走査方向に相対的に移動させて前記触針との間で接離動作を行う第2の工程と、前記第2の工程の前記接離動作によって前記触針の前記先端が前記被測定物の表面に接触して発生する前記触針のたわみを検出する第3の工程と、前記被測定物を前記触針に対して前記主走査方向に直交する副走査方向に相対的に移動させる第4の工程と、前記第2の工程、前記第3の工程および前記第4の工程を繰り返して前記被測定物の表面を前記主走査方向に走査するとともに、所定の走査幅で前記副走査方向に走査し、前記第3の工程で得られた前記たわみに基づいて前記被測定物の表面の3次元座標を取得する第5の工程とを含むことを特徴とする形状計測方法を提供する。

【0016】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施の形態に係る形状計測装置を示す。なお、座標軸を次のように定義する。鉛直方向をZ方向、水平方向の幅方向をX方向、水平方向の奥行き方向をY方向、X軸回りの回転を ϕ 方向、Y軸回りの回転を ψ 方向とし、それぞれ図示するように符号を持つ。

【0017】この形状計測装置1は、空気定盤2を有し、この空気定盤2上に風よけのボックス3を設け、このボックス3の中に、被測定物4および基準溝形状体5をX方向、Y方向、Z方向に移動させるX-Y-Zステージ6と、被測定物4に先端部7dを当接させる触針7Aと、触針7Aの近傍に触針7Aと平行に設けられ、先端部7dがない以外は触針7Aと同一形状を有する疑似触針7Bと、触針7Aの姿勢を調整する触針姿勢調整部8Aと、疑似触針7Bの姿勢を調整する疑似触針姿勢調整部8Bと、触針7Aの曲がり部7bの画像を撮像する光学顕微鏡9と、触針7Aの先端部7dの挙動を側方から観察する観察光学系10と、触針7Aの先端部7dを

先鋭化する先鋭化部11とを設けている。ボックス3内に触針7A等を配置しているので、一定以下の気流の影響を防ぐことができる。

【0018】X-Y-Zステージ6は、被測定物4および基準溝形状体5が載置されるステージ上試料台60と、ステージ上試料台60をX方向、Y方向およびZ方向にそれぞれ移動させるX軸ステージ61、Y軸ステージ62およびZ軸ステージ63とを備え、主走査と副走査が行えるようになっている。主走査にはZステージ63が用いられ、副走査にはX軸ステージ61とY軸ステージ62が用いられる。X軸ステージ61、Y軸ステージ62およびZ軸ステージ63は、それぞれ位置座標を知るための光学スケールを有している。光学スケールは、数 μm 程度の微細形状を計測するためには、0.1 μm 以上の測定分解能を有するものが好ましい。

【0019】触針7Aは、いわゆる直線状の片持ちはりと同弧状の片持ちはりとはを組み合わせたフィレット状の形状の片持ちはりからなり、固定端である取付部7aと、曲がり部7bと、鉛直部7cと、解放端である先端部7dとからなる。先端部7dは、鉛直方向に先鋭化されて、先鋭部分7eが形成される。

【0020】ここで、触針7Aについて更に説明する。触針1Aの先端部7dを被測定物4に鉛直方向に当接すると、被測定物4の表面がわずかに弾性変形する。この弾性変形により発生する弾性力(荷重)を触針7Aが受けて、触針7Aの曲がり部7bで鉛直方向上方にたわみが発生する。また、装置1全体が受ける振動や、触針7A付近での空気流による表面力を受けて、たわみが発生する。すなわち、触針7Aは、荷重を受けてたわみが発生する片持ちはりによるばね部材と考えることができる。触針7Aの直径は細いほど微細形状の被測定物4に好適である一方、触針7Aの挙動を光学顕微鏡9の画像で認識するには直径数 μm 程度が必要となる。

【0021】触針7Aの曲がり部7bは、長すぎると、自重で取付部7aに塑性変形が発生したり、表面積の増加による気流の影響や空気定盤2でも取りきれない程の装置1全体が受ける床振動の影響を受け易くなる。また、曲がり部7bは、短すぎると、ばねとして硬くなり被測定物4の表面を損傷するおそれがある。以上のことから、曲がり部7bの直径を考慮した最適な長さの範囲は、触針7Aの直径50 μm のとき3~10mm、直径10 μm のとき2~5mm程度である。

【0022】触針7Aの鉛直部7cは、測定対象の深さに応じて長さ500~2000 μm の範囲が好ましい。

【0023】触針7Aの先端部7dの先鋭化は、曲率半径0.1 μm 以上が好ましく、更に表面を金蒸着するのが好ましい。なお、先端部7dの先鋭化および金蒸着については、後述する。

【0024】本実施の形態では、触針7Aとして直径10 μm の市販のタングステンワイヤを用い、曲がり部7

bを半径2mmで折曲し、鉛直部5cを長さ500 μm で製作し、先鋭部分7eを曲率半径0.1 μm 以上とした。また、被測定物4は、軟質金属のアルミニウムからなるものを対象にした。この結果、被測定物4の表面の損傷はなく、触針7Aがたわみ動作することが確認できた。

【0025】擬似触針7Bは、上述したように先端部7dがない以外は触針7Aと同一形状、すなわち、取付部7aと、曲がり部7bと、鉛直部7cとを有するが、擬似触針7Bが被測定物4の表面に接触しないように、鉛直部7cを触針7Aより短くし、鉛直部7cの先端を鋭角にしている。

【0026】触針姿勢調整部8Aは、触針7Aの ϕ 方向を調整する回転ステージ80と、触針7Aの ψ 方向を調整する傾斜ステージ81とを備え、触針7Aの鉛直部7cが鉛直方向に一致するよう調整するものである。回転ステージ80と傾斜ステージ81により触針7Aの姿勢を調整することにより、予め製作する触針7Aの製作精度を緩めることができる、取付けが容易となる、触針7Aの衝突等による塑性変形に対して修正が容易になる等の操作性が向上する。

【0027】擬似触針姿勢調整部8Bは、触針姿勢調整部8Aと同様に、疑似触針7Bの ϕ 方向を調整する回転ステージ80と、疑似触針7Bの ψ 方向を調整する傾斜ステージ81とを備え、疑似触針7Bの鉛直部7cが鉛直方向に一致し、かつ、疑似触針7Bが光学顕微鏡9によって撮像される触針7Aの画像範囲に含まれるように調整するものである。疑似触針7Bは、ばね部材としては触針7Aとほぼ同一なので、装置1全体が受ける振動や、疑似触針7B付近での空気流に対しては、触針7Aと同様に荷重を受けてたわみが発生する。

【0028】光学顕微鏡9は、対物レンズ90を交換するレボルバ91と、ハロゲン光を出射する光源92と、顕微鏡筒93を通して画像を取り込む撮像手段としての2次元のCCDカメラ94とからなる。対物レンズ90には、測定位置合わせ用の低倍率の対物レンズ90Aと、接触検知用の高倍率の対物レンズ90Bとがある。光学顕微鏡9は、触針7Aのたわみが鉛直方向に発生するので、触針7Aの鉛直方向上方に配置している。触針7Aの先端部7dが被測定物4の表面に鉛直方向に当接して鉛直方向に最も変位が現れるのは、曲がり部7bである。このため、CCDカメラ94が顕微鏡筒93を通して取り込む画像は、触針7Aおよび疑似触針7Bの曲がり部7bに観察点が設定される。

【0029】図2は、先鋭化部11を示す。先鋭化部11は、被測定物4の代わりにステージ試料台60上に載置され、電解液110を保持する電解保持板111と、先端が電解液110に浸漬され、陰極電極となる銅線ワイヤ112と、接続線114aを介して銅線ワイヤ112と触針姿勢調整部8Aに取り付けられた触針7Aとに

数十Vまで印加可能な直流電源部114とを備える。

【0030】先鋭化の方法は、いわゆる電解研磨方法であり、電気分解により陽極として用いる触針7Aの先端部7dのエッジ部分に集中して析出し、結果的に円錐状に細ることを利用する。本実施の形態では、電解液110として0.1規定のNaOH水溶液を用い、陽極となる触針7Aの先端部7dと陰極となる銅線ワイヤ112との間隔を1mm程度にし、触針7Aの先端部7dと銅線ワイヤ112を深さ約10 μ mまで電解液110に浸漬し、直流電源部114によって触針7Aと銅線ワイヤ112との間に接続線114aを介して3V程度の直流電圧を数分間印加した。この結果、直径10 μ mのタングステンワイヤである触針7Aは、先端直径0.1 μ m程度まで細ることを確認した。

【0031】このような先鋭化部11によれば、触針7Aの取付部7aを保持部113に取り付けた後、触針7Aの先端部7dの先鋭化を行うので、着脱による先端部7dの欠け等の破損の危険性が少なくなる。また、先端部7dの先鋭部分7eの欠けた箇所再生、先端部7dに付着したごみ等の異物の除去も可能である。

【0032】図3は、本装置1の制御系を示す。この装置1は、本装置1全体の動作を制御する全体制御部20を有し、この全体制御部20に、光学顕微鏡9のCCDカメラ94によって撮像された画像を処理する画像処理部21と、上記X軸ステージ61、Y軸ステージ62およびZ軸ステージ63を接続している。画像処理部21には、フレームメモリ22、基準テーブル23および撮像テーブル24と、上記CCDカメラ94とを接続している。

【0033】全体制御部20および画像処理部21は、それぞれCPU、ROM、RAM等から構成され、全体制御部20および画像処理部21のROMには、後述する図11に示すようなフローチャートを実行するのに必要なプログラムが格納されている。画像処理部21は、光学顕微鏡9のCCDカメラ94によって撮像された触針7Aおよび疑似触針7Bの各画像を複数の部分画像に分割し、各部分画像毎に合焦度を求め、接触したと判定した場合は、接触検知信号を全体制御部20に出力するようになっている。基準テーブル23は、Q行R列のアドレス(Q, R)が割り付けられ、撮像テーブル24は、q行r列のアドレス(q, r)が割り付けられている。

【0034】次に、本装置1の動作を図面を適宜参照して説明する。図11は、本装置1の動作を示すフローチャートである。本装置1の動作には、測定動作(同図(a))と、校正に関する動作(同図(b))とがある。まず、測定動作について説明する。

【0035】(1) 測定初期化(ST1)

図4(a)、(b)は、接近動作(ST2)を説明するための図、図5(a)～(e)、図6(a)～(c)、図7(a)～(c)

は、画像処理部21の動作を説明するための図である。まず、オペレータは、レボルバ91を操作して測定位置合わせ用の対物レンズ90Aを選択し、光学顕微鏡9の画像を観察しながら触針7Aの先端部7dを測定位置に合わせた後、レボルバ91を再び操作して接触検知用の対物レンズ90Bを選択する(ST1-1)。

【0036】オペレータが、図示しない起動スイッチを押下すると、全体制御部20は、画像処理部21に合焦度演算を行わせる(ST1-2)。すなわち、画像処理部21は、光学顕微鏡9のCCDカメラ94によって撮像された図5(a)に示すような触針7Aの画像401を接触前の基準画像としてフレームメモリ22に取り込む。続いて、画像処理部21は、フレームメモリ22に取り込んだ画像401を、図5(b)に示すように、q行r列合計L(L=q \times r)個のn画素 \times m画素からなる部分画像402に分割し、部分画像402毎に合焦度を求め、図5(c)に示すように、基準テーブル(Q, R)23に記憶する。なお、n, mとして3から5が適当である。このとき、触針7Aが写っていない部分の部分画像402の合焦度は、像なしフラグfとして0を記入しておくなどして識別できるようにする。例えば図5(c)の場合は、(Q, 2)番地が像なしフラグfが立っていることを示す。

【0037】顕微鏡画像による目視観察を行った結果、直径10 μ m程度のワイヤを用いた触針7Aでは焦点の合っている部分画像402は画素毎の輝度ばらつきが大きく、焦点の合っていない部分画像402は画素毎の輝度がほとんど同一であることが分かった。また、微細な直径3 μ m程度のワイヤを用いた触針7Aでは、焦点の合っている度合いに対して、画素毎の輝度のばらつきは少なくなり、輝度の絶対値が変化することが分かった。つまり、焦点の合っている部分画像402は画素毎の輝度値が大きく、焦点の合っていない部分画像402は画素毎の輝度値が小さい。そこで合焦度を求める方法として、部分画像402毎に画素輝度値の標準偏差、もしくは画素輝度値の平均値を用いればよいことが分かる。これらを「合焦度値」とする。合焦度値の値の大きいほど合焦点に近いことになる。

【0038】このように触針7Aの画像401を複数の部分画像402に分割し、部分画像402毎に合焦度を求めることにより、高速処理が可能になる。すなわち、触針7Aが写っている部分の部分画像402が合計p個あるとすると、後述する接触検知(ST3)においては、L個すべてではなく触針7Aの写っている合計p個の部分画像402の合焦度を求めればよく、これにより高速な処理が可能となる。例えば、接触検知用の対物レンズ90Bとして100倍の倍率のものを用いた場合、直径約100 μ m程度の視野範囲に対して直径10 μ mの触針7Aを選択すると、画像ばけの部分を含んでも触針7Aの像が写っているのは、全体の約3分の1であ

り、残りの部分画像402には何も写っていない。従って、接触検知の処理速度は部分画像の数に比例するから、数倍高速化できる。

【0039】図5(e)は、光学顕微鏡9の接触検知用の対物レンズ90Bの開口数を0.2から0.7まで変えた場合のデフォーカス量に対する合焦度値のデータを示す。開口数0.7、倍率で100倍の対物レンズ90Bを用いれば、合焦度値の半値幅でデフォーカス量が $1\mu\text{m}$ 程度が得られ、この結果から $0.1\mu\text{m}$ 程度の測定分解能が達せられる。従って、接触検知用の対物レンズ90Bとして、開口数0.7以上、倍率100倍のものが適当である。なお、高速な処理が望まれるので、像なしフラグfを基に触針7Aの写っている部分画像402だけ合焦演算を行う。

【0040】(2) 接近動作(ST2)

全体制御部20は、被測定物4の測定面の傾きに関わらず鉛直方向から接近動作を開始する(ST2-1)。すなわち、全体制御部20は、図4(a)に示すように、固定されている触針7Aの先端部7dに向かってZ軸ステージ63により被測定物4を同図矢印に示す鉛直方向上方に一定速度で上昇させる。被測定物4が、触針7Aに鉛直方向に当接すると、図4(b)に示すように、触針7Aがたわむ。一方、全体制御部20は、接近動作(ST2)を開始すると、直ちに画像処理部21に後述する接触検知(ST3)の動作の開始を指示する。画像処理部21で後述する接触検知(ST3)が行われ、画像処理部21から接触検知信号が出力されると(ST3-5)、全体制御部20は、接近動作を直ちに停止する(ST2-2)。次に、全体制御部20は、X軸ステージ61、Y軸ステージ62およびZ軸ステージ63の光学スケールから現在のX方向、Y方向、Z方向の3次元座標を取得する。このように接近動作(ST2)と接触検知(ST3)の動作を同時並行にして行うことにより、将来の画像処理部21の高速化により測定動作の高速化が可能となる。

【0041】(3) 接触検知(ST3)

まず、画像処理部21は、光学顕微鏡9のCCDカメラ94によって撮像された触針7Aの画像401を図5(a)で説明したようにフレームメモリ22に記録する(ST3-1)。続いて、画像処理部21は、フレームメモリ22に記録した画像401をq行r列合計 $L(L=q \times r)$ 個のn画素 \times m画素からなる部分画像402に分割し、部分画像402毎に合焦度を求め、図5(d)に示すように、撮像テーブル(q, r)24に記憶する。なお、高速な処理が望まれるので、初期化(ST1)でも述べたように、像なしフラグfを基に触針7Aの写っている部分画像402だけ合焦演算(ST3-2)を行うことが好ましい。

【0042】画像処理部21は、擬似触針7Bについても、触針7Aと同様に合焦度演算(ST3-2)を行

い、その演算結果を撮像テーブル(q, r)24に記憶する。次に、画像処理部21は、接触前の基準画像と毎回撮像する触針7Aの画像とを合焦度値の点で比べることにより、変位量を算出する(ST3-3)。すなわち、画像処理部21は、予め初期化(ST1)で求めておいた基準テーブル(Q, R)23と撮像テーブル(q, r)24のそれぞれの合焦度値データについて、同じアドレス同士の差分を、像なしフラグfのない部分画像402の合計p個分だけ足し合わせることで合焦度値を求める。対象とする合計p個について全て足し合わせた値を「合焦度値」Frとする。この合焦度値Frは、触針7Aの初期位置に対する光学顕微鏡9上での奥行き方向すなわち、Z方向の変位に関する値を表す。接触によるたわみが発生すると、接触前に比べて合焦度値Frは大きくなる。擬似触針7Bについても、触針7Aと同様に変位量算出(ST3-3)を行い、合焦度値Fsが求められる。

【0043】図6(a)～(c)は、差動成分抽出(ST3-4)の動作を説明するための図である。同図(a)は、触針7Aについての合焦度値Frを示し、同図(b)は、擬似触針7Bについての合焦度値Fsの演算結果を示し、同図(c)は差動成分抽出によって得られる合焦度値Fdの演算結果を示す。画像処理部21は、触針7Aの合焦度値Frと擬似触針7B2の合焦度値Fsの差分Fdを求める(ST3-4)。装置1全体が床振動、空気流等の影響を受けて触針7Aが振動することは避けがたい。触針7Aと擬似触針7Bはほぼ同様な振動数と振幅で振動するので、同図(a), (b)に示すように、それぞれの合焦度値Fs, Frも振動に合わせて変動傾向600となる。しかしながら、その差分Fdは、同図(c)に示すように、振動があるにも関わらず常に0に近い概略一定値601となる。一方、触針7Aが被測定物4に接触してたわみ出ると、同図(a)に示すように、合焦度値Frだけが振動に加えて増加傾向となるため、同図(c)に示すように、合焦度値の差分Fdも増加傾向602となる。このように差動成分Fdを抽出するようにしたので、同図(c)に示すように、従来は振動の中から接触を検知するために大きくたわませる閾値レベル603が必要であったのに対し、たわみが小さい閾値レベル604で接触を検知できるようになり、後述するように特に急傾斜面においても高精度な測定が可能となる。

【0044】図7(a)～(c)は、接触判定(ST3-5)の動作を示す。画像処理部21は、合焦度値の差分Fdが、一定の閾値を越えている時、触針7Aの接触によるたわみが発生したと判断する。ここで閾値は、接触を検知する最低たわみ量を意味する。これはなるべく小さな値が好ましい。なぜなら、とくに急傾斜面においては、一旦目標の測定点に接触しても接触検知できずで更に触針7Aをたわませると、測定点から滑り落ちて

目標の測定点から外れた地点にずれて、たわみが元に戻ってしまうからである。

【0045】図7(a), (b) に示す合焦測定値 F_r , F_s の差分 F_d で説明すると、差分 F_d は、図7(c) に示すように、従来は振動の中から接触を検知するために大きくたわませる閾値レベル603が必要であり、接触によって開始した増加傾向700が、触針7Aの滑り落ちにより減少701してしまう。このような場合に閾値を高いレベル702に設定すると、接触を検知できないことになる。従って、接触を検知する最低たわみ量はなるべく小さい方が、滑りを発生する機会が少なくなり好ましい。その一方、小さすぎると、振動によるたわみを接触したと誤検出する場合がある。従って、閾値の設定は、振動による誤検出となる閾値レベル703を越え、滑り落ちが開始する閾値レベル704未満の範囲で設定することが好ましい。閾値レベルは触針7Aの先端部7dの挙動を観察光学系10で観察することにより適当な値を決めることができる。このようにして接触検知(ST3)が行われる。

【0046】このように光学顕微鏡9によって触針7Aを撮像し、この撮像によって得られた画像に基づいて触針7Aのたわみを判定するようにすることで、触針7Aに特別の機構を追加することなく非接触にたわみを検知できるので、構成が簡素化できる。また、光学顕微鏡9の画像に現れる触針7A、7B表面の合焦の程度を、触針7Aの合焦測定値 F_r と疑似触針7Bの合焦測定値 F_s の差分 F_d (合焦点測定関数) により評価し、差分 F_d の値が一定の閾値を越えると、触針7Aのたわみが発生したと判定するようにしたので、触針7Aのたわみが高分解能で得られ、検査精度が向上する。また、光学顕微鏡9の画像の範囲に触針7A、7Bが写っていればよいので、光学顕微鏡9の光学系の調整精度を緩めることができ、構成が簡素化できる。また、新たな演算項目を付加することなく簡便な方法で振動と音響ノイズによる誤検出を防止することができる。

【0047】このように接触検知(ST3)の動作は、画像の取り込みとその処理演算であり、その速度は画像処理部21を構成するCPUの速度に比例する。近年の画像処理装置は、いわゆるパーソナルコンピュータと画像取り込みボードからなるものが多く、CPUが主な演算を行っている。CPUの速度向上は目覚ましいものがあり、今後も更なる処理速度向上が期待できる。筆者の実験では数Hz程度の処理速度で接触検知のサイクルを回すことが可能である。接触検知と主走査方向の接近動作を交互に行うのでは、接近動作の起動停止にかかる時間が大きく、速度向上の効果が得られ難かった。本方法では、これを同時並行に行うようにしたので、CPU処理速度向上に伴ってZ軸テーブル63の接近動作の速度を向上することにより測定時間の短縮が直ちに図れる。

【0048】接触を検知すると、画像処理部21は、全

体制御部20に接触検知信号を出力し、接近動作(ST2)の項で述べたように連続走査は終了し、この時点のX-Y-Zステージ6の3軸分の座標値が記録される。接触が検知されないとき、画像処理部21はステップST3-1に戻る。

【0049】(4) 待避動作(ST4)

全体制御部20は、Z軸ステージ63により被測定物4を数百 μm 程度鉛直方向下方(-Z方向)に待避させる。触針7Aは被測定物4の表面4aから離れて元の形状に復元する。待避動作のとき、被測定物4を接触直前の位置まで待避させただけでは、一旦接触した触針7Aが吸着して離れない場合があるが、数百 μm 程度被測定物4を引き離す動作を行っているため、触針7Aには引き離し方向に弾性力が発生し、触針7Aを被測定物4の表面4aから離すことができる。全体制御部20は、規定の測定回数の測定が完了すると(ST7)、その平均値を求め、測定点1点の位置測定を終える。規定の測定回数の測定が完了していない場合は、接近動作(ST2)に戻る。

【0050】このように複数回の平均値を用いることにより、特に急傾斜面の位置測定における測定値のばらつきを低減することができる。ばらつきは、静電気力等の表面力によって触針7A先端が目標の測定点から外れた地点に引き込まれ張り付いてしまうこと、一旦目標の測定点に接触しても接触検知できるまで更に触針7Aをたわませると、測定点から滑り落ちて目標の測定点から外れた地点にずれてしまうことにより起こる。それぞれ、後述する触針7A先端の金蒸着により表面力の影響を低減する方法や、前述したたわみ量低減による滑り落ちを少なくする方法を行うが、最終的には目標の測定精度を得るために、素データの測定結果から、規定の測定回数を決定することがよい。n回の繰返し平均により $1/\sqrt{n}$ にばらつきは低減することが知られている。例えば、目標の測定精度を繰返しばらつき $0.1\mu\text{m}$ としたときに、素データのばらつきが $0.5\mu\text{m}$ ある場合は、25回の繰返しを行って平均値を求めることにより目標の測定精度に達する。このように被測定物4の表面の鉛直方向の座標を複数回求め、その平均値あるいは中央値を鉛直方向の座標とすることにより、急傾斜面での触針7Aの滑りや張り付きを原因とする測定値のばらつきが低減される。

【0051】(5) 送り動作(ST5)

最後に送り動作(ST5)として、X軸ステージ61ないしY軸ステージ62により副走査として微小距離dだけ送り動作を行い、合焦度演算の初期化(ST1-1)に戻る。ここで微小距離dの算出方法について述べる。まず送り動作を行う直前の2点の高さデータ Z_{n-2} 、 Z_{n-1} 、送り量 d_{n-1} が既知である。副走査開始直後の2点は、初期送り量 d_{init} を用いる。これより、傾斜角度 θ を式(1)により推定し、測定面の方向に

初期送り量 d_{init} とほぼ等しい間隔となるように、副走

$$\theta = \tan^{-1} \cdot ((Z_{n-2} - Z_{n-1}) / d_{n-1}) \quad \dots(1)$$

$$d_n = d_{init} \cdot \cos \theta \quad \dots(2)$$

【0052】図8(a)、(b)は、送り動作の効果を説明するための図である。従来からよく行われてきたように、副走査方向xに一定間隔で送るような送り動作では、図8(a)に示すように、平面での測定間隔 d_1 に比べ傾斜面の測定間隔 d_2 が粗くなる問題があったが、本実施の形態によれば、被測定物4の測定面の傾きにに応じて副走査の走査幅を決定するようにしたので、図8(b)に示すように、測定面に沿った面上で平面での測定間隔 d_1 とほぼ等間隔 d_3 で測定データを得ることができ、精度の高い形状測定が可能となる。

【0053】次に、図11(b)のフローチャートに従い、校正に関する動作を説明する。

(6) 触針7A先端の製作(ST11)

オペレータは、先鋭化部11によって触針7Aの先端部7dの先鋭化を行う。すなわち、オペレータは、折り曲げ加工の終わった触針7Aを触針姿勢調整部8Aに取り付ける。また、オペレータは、ステージ試料台60上に被測定物4の代わりに電解液110を保持した電解保持板111を載置し、直流電源部114によって触針7Aと銅線ワイヤ112との間に接続線114aを介して3V程度の直流電圧を数分間印加する。これにより、直径 $10\mu\text{m}$ のタングステンワイヤである触針7Aの先端部7dは、直径 $0.1\mu\text{m}$ 程度まで先鋭化される。

【0054】次に、触針7Aの先端部分の金属蒸着を行う。特に被測定物4がプラスチック等の樹脂材料で不導体である場合は、表面に電荷を保持しやすくなり、繰り返し接触検知による測定を行っていると、測定面に $1\mu\text{m}$ 程度まで接近したとき、触針7Aの先端部7dが測定面に吸い込まれ、目標とする測定点以外の地点で接触検知することになって測定精度が悪化する。そこで表面電荷を除き易くするために、先端部分を始め触針7A全体を導電性の高い金属、好ましくは金蒸着しておくことが望ましい。従って、触針7Aの先端部7dを鉛直方向に先鋭化し、さらに金蒸着することにより、高い面内分解能を有し、静電力等の表面力の影響を受けることなく高い精度で3次元形状測定が可能となる。

【0055】(7) 触針姿勢の調整(ST12)

図9(a)～(d)、図10(a)～(f)は触針姿勢の調整(ST12)を説明するための図である。触針7Aの先端部7dの先鋭化された部分7eは、折り曲げ加工精度や、取付部7aの取付け精度の点から、正確な鉛直方向にはならない。そこで、次に示す調整手順により鉛直をだす。まず、オペレータは、レボルバ91を操作して測定位置合わせ用の対物レンズ90Aを選択し、触針7Aの鉛直部7cを鉛直上方から光学顕微鏡9により画像観察する(ST11-1)。触針7Aの回転方向の角度 ϕ が鉛直方向下方に対してずれている場合、図9(a)や

査方向の送り量 d_n を式(2)により算出する。

(c)に示すように鉛直部7cの画像800が斜めに見える。この画像800が、曲がり部7bの画像801と一直線になるよう、回転ステージ80を調整する。次に、触針7Aの傾斜方向の角度 ϕ が鉛直方向からずれている場合は、図9(b)に示すように鉛直部7cの画像800が見える。図9(d)のように鉛直部7cの画像800が見えなくなるように傾斜ステージ81を調整する(ST11-2)。これにより鉛直部7cの鉛直方向出しができる。

【0056】しかしながら、上記調整は画像で目視認識できる範囲の調整であり、5度程度のばらつきは避けがたい。85度程度の急傾斜面での測定に対しては、1度程度まで鉛直度が求められる。この場合は、上記の画像計測方法よりも更に正確な調整方法が必要であり、図10(a)に示す既知形状の急傾斜面5aを有する基準溝形状体5の溝幅を測定することがよい。急傾斜面5aの傾斜角度 θ 、および触針7Aの開き角度 β を含む傾き角度を α とすると、 $\alpha < \theta$ においては、図10(c)、(e)に示すように、測定値は図10(d)、(f)に示すように、溝幅が既知の値より狭く測定される。また、 $\alpha > \theta$ においては、図10(a)に示すように、測定値は図10(b)に示すように、溝幅は既知の値で測定される。調整の方法としては、溝幅が最大に測定されるように回転ステージ80と傾斜ステージ81を調整する。触針7Aの開き角度 β は2度程度となるので、傾斜角度 θ が85度程度の既知形状の急傾斜面5aを有する基準溝形状体5の溝幅を計測して調整することにより、触針7Aの先端部7dの鉛直度は1度以内に調整され、大抵の急傾斜面の測定が可能となる。

【0057】上述したように、本装置1によれば、先端が折曲された触針7Aを用いてその折曲された方向に主走査を行うとともに、副走査を行う構成としたので、自由曲面を含む複雑な3次元形状が計測可能となる。また、被測定物4と触針7Aとの接触を、接触によって発生する触針7Aのたわみから検知しているので、静電力等の表面力の影響を受け難くなり、急傾斜面を有する表面形状でも高分解能で計測でき、また、被測定物4が導体か不導体かによらず表面形状を計測できる。また、被測定物4と触針7Aとの接触を一方向の走査によって検知しているので、簡便に3次元形状を計測できる。

【0058】図12は、本装置1による被測定物4の測定結果を示す。被測定物4として放電加工による開口幅 $25\mu\text{m}$ 、深さ $50\mu\text{m}$ の溝形状を有するものを測定対象にした。この結果、図12に示すように、平面、溝の傾斜面、溝の底面が高精度で測定できていることが分かる。

【0059】なお、本発明は、上記実施の形態に限定さ

れず、種々な形態が可能である。例えば、上記実施の形態では、接触検知（ST3）の振動による誤動作を防ぐ方法として、擬似触針7Bを用いているが、振動の影響が少ない場合は敢えてこれを用いなくてもよい。

【0060】

【本発明の効果】上述したように、本発明によれば、先端が折曲された触針を用いてその折曲された方向に主走査を行うとともに、副走査を行う構成としたので、自由曲面を含む複雑な3次元形状が計測可能となる。また、被測定物と触針との接触を、接触によって発生する触針のたわみから検知しているので、静電力等の表面力の影響を受け難くなり、急傾斜面を有する表面形状でも高分解能で計測でき、また、被測定物が導体か不導体かによらず表面形状を計測できる。また、被測定物と触針との接触を一方向の走査によって検知しているので、簡便に3次元形状を計測できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る形状計測装置を示す概略構成図である。

【図2】本実施の形態に係る先鋭化部の斜視図である。

【図3】本実施の形態に係る形状計測装置の制御系を示すブロック図である。

【図4】(a)、(b)は接近動作を説明するための図である。

【図5】(a)～(e)は接触検知動作を説明するための図である。

【図6】(a)～(c)は差動成分抽出動作を説明するための図である。

【図7】(a)～(c)は接触判定動作を説明するための図である。

【図8】(a)、(b)は送り動作の効果を説明するための図である。

【図9】(a)～(d)は触針姿勢の調整を説明するための図である。

【図10】(a)～(f)は触針姿勢の調整を説明するための図である。

【図11】(a)、(b)は本実施の形態に係る形状計測装置の動作を示すフローチャートである。

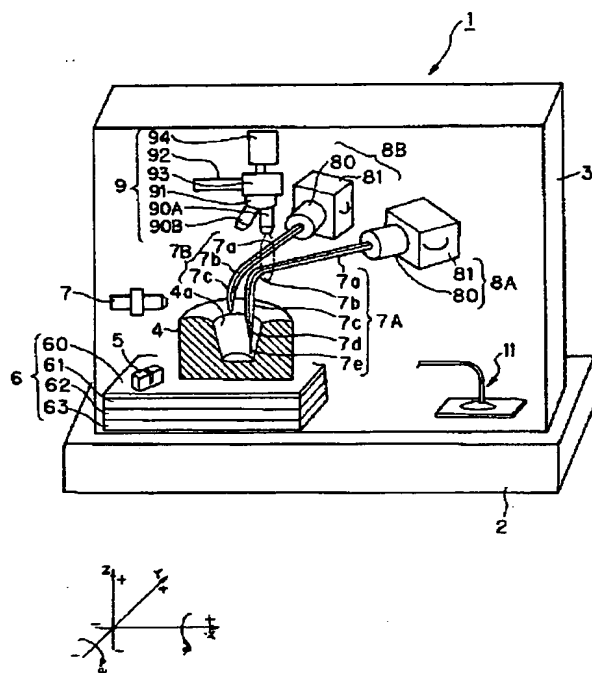
【図12】本実施の形態に係る形状計測装置による被測定物の測定結果を示す図である。

【符号の説明】

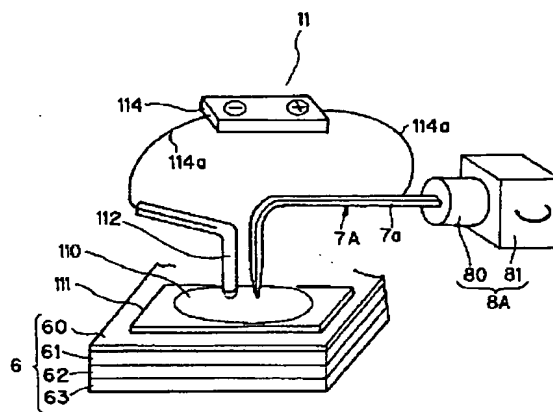
- 1 形状計測装置
- 2 空気定盤
- 3 ボックス

- 4 被測定物
- 5 基準溝形状体
- 6 X-Y-Zステージ
- 7A 触針
- 7B 擬似触針
- 7a 取付部
- 7b 曲がり部
- 7c 鉛直部
- 7d 先端部
- 7e 先鋭部分
- 8A 触針姿勢調整部
- 8B 疑似触針姿勢調整部
- 9 光学顕微鏡
- 10 観察光学系
- 11 先鋭化部
- 20 全体制御部
- 21 画像処理部
- 22 フレームメモリ
- 23 基準テーブル
- 24 撮像テーブル
- 60 ステージ上試料台
- 61 X軸ステージ
- 62 Y軸ステージ
- 63 Z軸ステージ
- 80 回転ステージ
- 81 傾斜ステージ
- 90, 90A, 90B 対物レンズ
- 91 レボルバ
- 92 光源
- 93 顕微鏡筒
- 94 CCDカメラ
- 110 電解液
- 111 電解液保持板
- 112 銅線ワイヤ
- 114a 接続線
- 114 直流電源部
- 401 画像
- 402 部分画像
- 600 変動傾向
- 601 一定値
- 602 増加傾向
- 603, 604, 703, 704 閾値レベル
- 701 減少

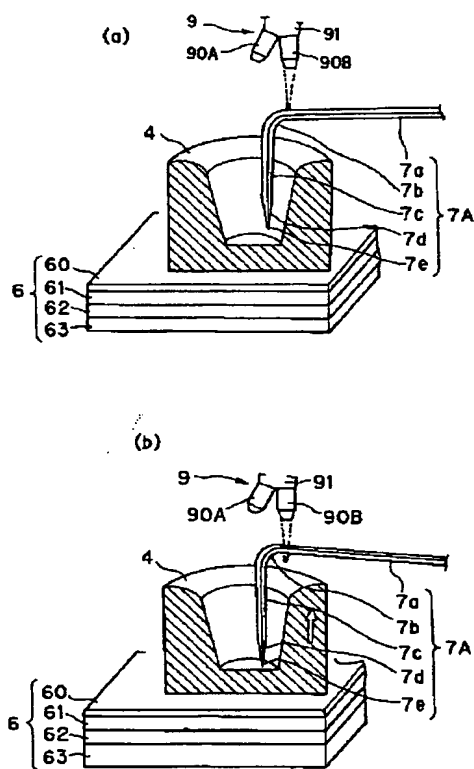
【図1】



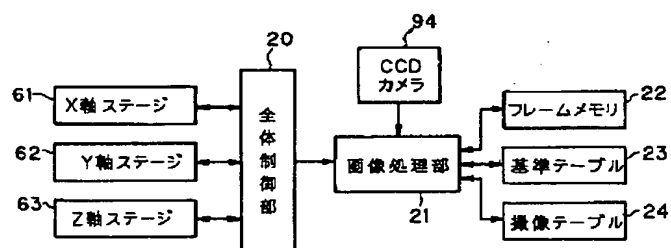
【図2】



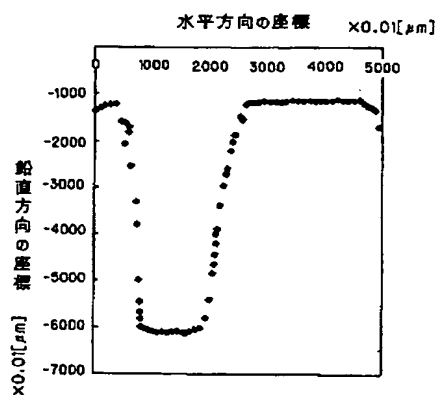
【図4】



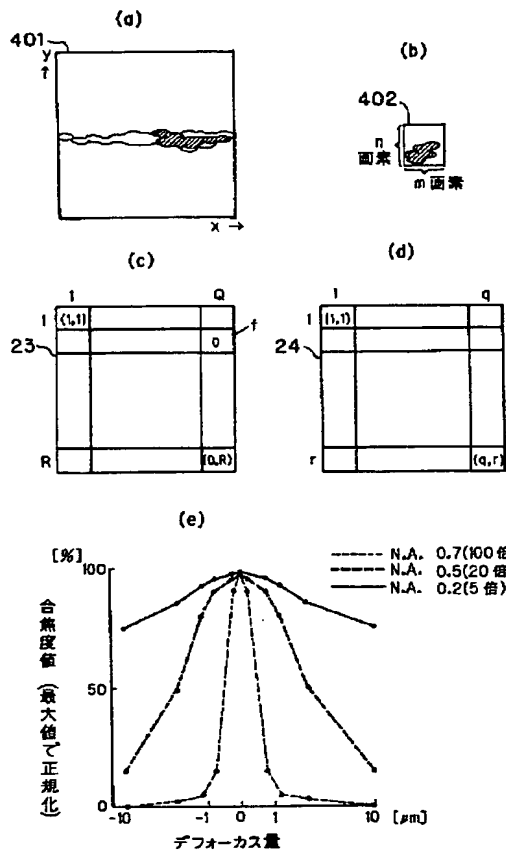
【図3】



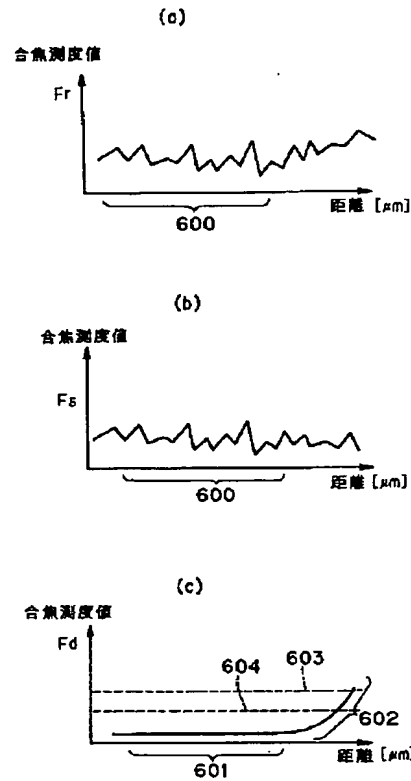
【図12】



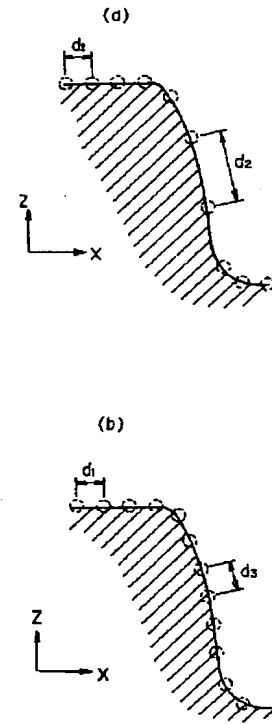
【図5】



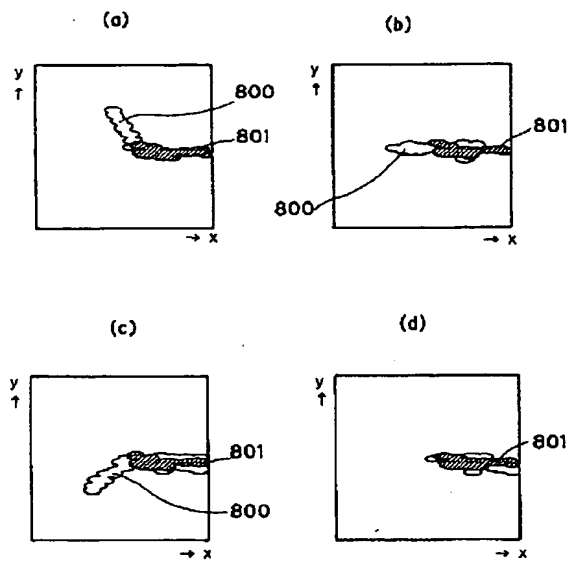
【図6】



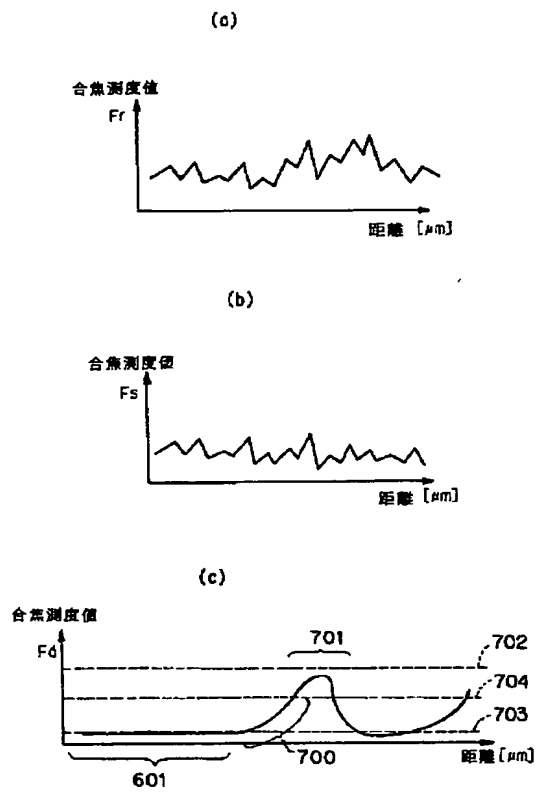
【図8】



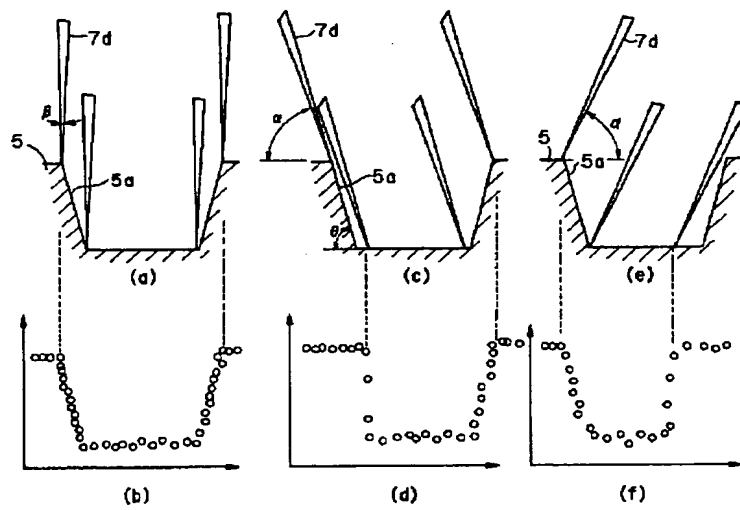
【図9】



【図7】



【図10】



【図11】

